

Desenvolvimento de um motor eletromagnético radial**Development of an electromagnetic radial engine**

DOI:10.34117/bjdv5n11-371

Recebimento dos originais: 07/10/2019

Aceitação para publicação: 29/11/2019

Gabriel Gonçalves Pessoa De Castro

Doutor em Engenharia Metalúrgica

Instituição: Universidade Federal Fluminense (UFF).

Endereço: R. Doze - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ, 27255-125.

E-mail: gabriel.pessoa@aedb.br

Alan Rodrigo de Souza

graduando em Engenharia Mecânica pela Associação Educacional Dom Bosco – Escola de Engenharia de Resende (AEDB-FER).

Endereço: Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende - RJ, 27523-000.

E-mail: alan.rodrigo7@gmail.com

Rubens Molina Loures do Nascimento

graduando em Engenharia Mecânica pela Associação Educacional Dom Bosco – Escola de Engenharia de Resende (AEDB-FER).

Endereço: Av. Cel. Prof. Antônio Esteves, 1 - Campo de Aviação, Resende - RJ, 27523-000.

E-mail: rubensloures43@gmail.com

RESUMO

As mudanças climáticas fazem com que o assunto desenvolvimento sustentável e o uso de fontes renováveis se tornem cada vez mais importante no progresso da nossa sociedade. A elaboração de um motor radial movido por solenoide que possua como principal fonte a eletricidade é apresentado como uma forma alternativa de se utilizar uma fonte limpa, renovável, que não emita gases poluentes na atmosfera e que reduza os custos já que, o combustível tem se tornado cada vez mais caro no Brasil. Devido ao início de uma nova revolução industrial denominada indústria 4.0, pode se observar que o assunto preservação ambiental e uso de fontes limpas tem sido os principais temas, devido a grande maioria dos combustíveis utilizados não serem de fonte renováveis. A junção de diversos fatores vem tornando estudos como esses de grande importância social, o que ultimamente vem sendo tema de artigos e pesquisas em diversas empresas mostrando que a transição de veículos movidos a combustão por veículos elétricos se tornará gradativamente parte da nossa realidade simplesmente por não emitirem gases tóxicos ao nosso ambiente.

Palavras Chave: eletromagnetismo, solenoide, radial, sustentável.**ABSTRACT**

Climate change causes the issue to develop sustainable use and the use of renewable sources is becoming increasingly important in progress of our society. Building a solenoid-powered radial engine which it has as its main source of electricity is presented as a form of alternative to using a clean, renewable source that does not emit polluting gases in the atmosphere and which reduces costs

as fuel has become increasingly most expensive in Brazil. Tax at the beginning of a new industrial revolution called Industry 4.0, you may notice that the subject preserves and uses sources clean has been the main theme due to the vast majority of spending use are not from renewable sources. A junction of several factors has become studies such as these of great social importance, or which have been theme of articles and research in various companies that show the transition from fuel-powered vehicles by electric vehicles will gradually become part of our reality simply by not emitting toxic gases into our environment.

Key words: electromagnetism, solenoid, radial, sustainable

1 INTRODUÇÃO

Os motores a combustão mesmo após 150 anos de existência, ainda é o principal propulsor dos meios de transportes. As constantes preocupações com o meio ambiente e até mesmo com um possível fim das fontes energéticas petrolífera faz com que os carros movidos a eletricidade seja atualmente, considerados o futuro do mercado de veículos pequenos por possuírem uma taxa de poluição praticamente nula e por serem silenciosos, o que seria uma grande contribuição para a redução da poluição em grandes centros urbanos e uma forma de substituição do uso de petróleo como fonte de energia. O primeiro motor elétrico foi projetado em 1828 por Ánvos Jedlik mas, o primeiro veículo equipado com este tipo de motorização foi construído por Thomas Davenport em 1835. O declino da aplicação dessa tecnologia no ramo automotivo começou no momento em Henry Ford inicia em suas fabricas a produção em massa de veículos movidos por combustão interna, que tornou os preços dos veiculos mais baixo e acessível a população. Hoje, a Tesla Motors tem produzido e aperfeiçoado cada vez mais os modelos elétricos o que, faz o tema tomar cada vez mais força no mercado mundial.

É neste contexto que este projeto tem como proposta desenvolver o aperfeiçoamento de um motor radial tornando-o totalmente movido por solenoides. Neste tipo de motor o seu movimento será através do eletromagnético, o pistão será impulsionado por um campo magnético que é produzido no interior de um solenoide, em vez de se utilizar combustível fóssil para estar realizando o movimento dos pistões.

Esse motor alternativo será uma demonstração de uma das diversas formas de se substituir os motores a combustão que com o passar do tempo começará a ter os seus dias contados devido aos avanços da Indústria 4.0, o aumento nos preços dos combustíveis e os efeitos colaterais que estão cada vez mais evidentes no ecossistema, o motor proposto visa atender as necessidades humanas de locomoção sem ocasionar danos à população visando um futuro melhor para o nosso planeta.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O MOTOR RADIAL

O motor radial, é um motor de ciclo Otto cujos os pistões se encontram dispostos radialmente em torno do cárter central. Este tipo de motor, atualmente, não é muito utilizado, no entanto no início da aviação, antes e durante a primeira guerra mundial, foi um dos principais motores utilizados em aviões (Ana et al,2015).

Os motores Radiais podem possuir uma carreira de pistões de três, cinco ou até mesmo nove, alguns possuem ainda uma segunda carreira de sete ou nove cilindros dispostos ao redor do cárter o que pode dar uma potência entre 100 a 3800 cv (BRASIL IAC,2002) (Figura 1).



Figura 1: Motor radial de dupla carreira.

Fonte :Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1.

Os motivos para a sua utilização foram às baixas vibrações produzidas por este, quando comparado com outros tipos de motor da sua época, ser compacto em termos de comprimento sendo possível extrair o máximo de potência em um espaço reduzido e, devido à sua natureza rotativa, ter boa capacidade de arrefecimento devido o posicionamento dos pistões serem em formato radial o que torna a refrigeração a ar eficiente já que consegue resfriar cada pistão por igual e não necessitar de um volante, o que se traduz num motor mais leve, apesar disto ter desvantagens em termos de estar limitado a baixas rotações por minuto devido à força centrífuga inerente ao motor, tem um alto consumo de óleo de rícino utilizado na lubrificação deste, o efeito giroscópio causado pelo motor

dificulta a manobrabilidade do avião onde este se encontra instalado e o sistema de escape não é fechado (Taylor 1971).

2.2 ELETROMAGNETISMO

O conceito de eletromagnetismo é parte fundamental do motor, sendo este, responsável por dar origem a força capaz de movimentar as hastes articuladas quem terão papel de realizar o movimento de um pistão.

Dentro deste conceito, alguns fatores devem ser levados em consideração para que possamos obter o melhor campo gerado pelos solenoides.

De acordo com o efeito Hall, um campo magnético exerce uma força lateral sobre os elétrons que se movem em um fio, como os elétrons não podem deixar o fio a força é naturalmente transmitida para o fio.

Através da Equação 1 podemos calcular a força magnética que age em um trecho de fio retilíneo que possui comprimento L, percorrido por uma corrente i e que é submetido a um campo magnético B perpendicular ao fio.

$$\vec{F} = iL \vec{B} \quad (1)$$

Onde,

L – Comprimento do fio retilíneo

i – Corrente percorrida no fio

Um campo magnético também pode ser criado através do movimento de cargas elétricas, tal como o fluxo de corrente num condutor. Ao campo magnético originado por uma corrente elétrica chamamos de Campo Eletromagnético (MUSSOI,2007 p.24). Ao se fazer uma corrente fluir através de um fio, por exemplo, conectando esse fio em uma bateria. Conforme vamos aumentando a corrente que percorre todos o fio o campo aumenta proporcionalmente, se nos movemos para longe do fio o campo magnético que enxergamos diminui proporcionalmente à distância, ou seja o campo magnético é regido pela Equação 2:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad (2)$$

Nesta formulação o μ_0 é uma constante especial denominada como permeabilidade magnética no vácuo o seu valor é:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot \frac{m}{A}$$

Como o campo é um vetor ele possui uma direção e para saber essa orientação (3) existe a regra da mão direita ela determina qual a orientação esse campo terá ao ter uma corrente percorrendo um fio retilíneo. Para se realizar essa análise, envolva a mão direita ao redor do fio o polegar direito irá

indicar o sentido da corrente e os demais dedos o sentido do campo conforme a Figura 2, o que terá extrema importância na confecção da solenoide já que o sentido da corrente irá puxar a haste (pistão) para cima gerando a movimentação.

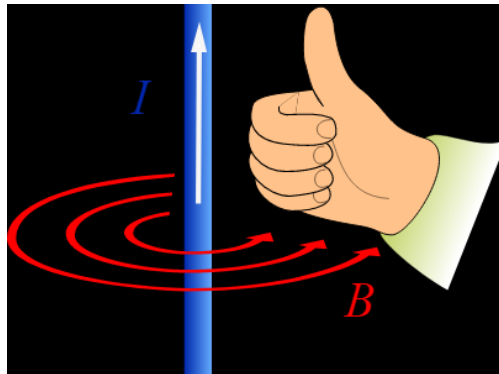


Figura 2: Regra da mão direita.

Fonte: Wikimedia.

2.3 CAMPO ELÉTRICO GERADO EM UM SOLENOIDE

Solenoide, ou bobina, é composto por uma quantidade de espiras, dispostas sem intervalo em um comprimento L , ao qual seu o campo age de forma diferente, pois pela proximidade delas, o campo tem um comportamento semelhante ao de um fio retilíneo, e as linhas de campo são próximas de círculos concêntricos. Ou seja, em um solenoide, tem como característica principal a concentração do campo magnético paralelo ao eixo central. Em um solenoide ideal, o campo gerado na parte superior das espiras, se anula com o campo criado na parte inferior, sendo assim, em um solenoide ideal, o campo magnético externo é igual a zero. A orientação do seu campo magnético se dá pela regra da mão direita: ao se apontar os dedos no sentido da corrente, o seu polegar esticado irá mostrar a orientação do campo magnético conforme foi explicado no tópico anterior sobre eletromagnetismo.

O cálculo envolvido para a medida da força do campo B deve levar em consideração a intensidade da corrente i que passa nas espiras, a quantidade n de espiras, o comprimento L do solenoide e a permeabilidade magnética do núcleo μ . Podemos ver a seguir as suas relações por meio da Equação 4:

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot \frac{n}{L} \quad (4)$$

2.4 NORMA REGULAMENTADORA PARA CONSTRUÇÃO

A norma Brasileira que estabelece as condições mínimas aceitáveis para o perfeito funcionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão é a NBR 5410, ela garante através de suas regulamentações a segurança de pessoas, animais e a preservação dos bens. Neste projeto esta norma

terá uma extrema importância no processo de construção pois ela também se aplica em comandos elétricos o que se encaixa perfeitamente no projeto a ser desenvolvido.

O projeto se encaixa no seguinte quesito abordado na norma:

- Aos circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1 000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1500 V em corrente continua.

3 IDEALIZAÇÃO DO PROJETO

O motor tem por finalidade ser feito em formato radial, seus pistões serão posicionados ao redor de um bloco central exatamente como em um motor radial convencional, o diferencial deste projeto estará na sua forma de alimentação.

Vale ressaltar que motores radiais convencionais possuem a vantagem de ocupar um espaço menor, mas utilizam uma fonte de energia totalmente poluente para o meio ambiente, neste projeto o diferencial será a construção de um motor (Figura 3) no qual os pistões se movimentem através do uso da energia elétrica ou seja, energia limpa zero emissões. Isso só será possível graças ao campo magnético que cada bobina irá gerar atraindo o seu pistão para dentro, movendo o virabrequim parcialmente, mas quando em cadeia, e de forma ordenada, gera uma rotação contínua no eixo e o pistão executando um movimento linear, cada bobina irá ligar e se desligar em seu devido tempo para que o movimento de subida e descida de cada pistão seja convertido em rotação através das bielas e contrapeso utilizando a metodologia ON/OFF assim, os pistões irão executar os movimentos idênticos a um motor radial convencional movido por combustível fóssil mas, utilizando uma fonte de energia totalmente renovável e com zero emissão de CO₂.

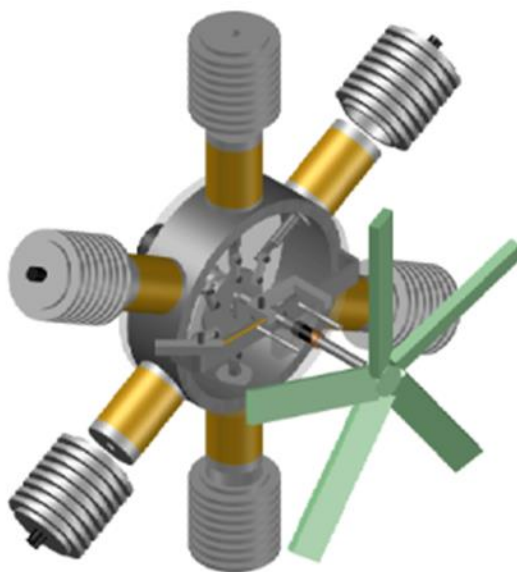


Figura 3: Vista do protótipo em 3D projetada no SolidWorks.

Fonte: Própria autoria.

A fabricação da estrutura será realizada utilizando processos de usinagem e fixação por parafusos e porcas.

O gerenciamento do projeto e suas etapas serão realizados de acordo com a metodologia PMBOK (Project Management Body of Knowledge). Os grupos de processos do PMBOK são cinco:

Iniciação: os processos executados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente através da obtenção de autorização para iniciar o projeto ou fase.

Planejamento: os processos necessários para definir o escopo do projeto, são refinar os objetivos e definir a linha de ação necessária para alcançar os objetivos para os quais o projeto foi criado.

Execução: os processos realizados para executar o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto para satisfazer as especificações do projeto.

Monitoramento e Controle: os processos exigidos para acompanhar, analisar e controlar o progresso e desempenho do projeto, identificar quaisquer áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano, e iniciar as mudanças correspondentes.

Encerramento: os processos executados para finalizar todas as atividades de todos os grupos de processos, visando encerrar formalmente o projeto ou fase.

Esses cinco grupos têm dependências claras, são em geral executados em cada projeto e interagem muito entre si. Os grupos independem de áreas de aplicação ou especialização do setor. Os grupos de processos individuais e os processos individuais são frequentemente inteirados antes da conclusão do projeto e podem ter interações dentro de um grupo de processos e entre os grupos de processos. A natureza dessas interações varia de um projeto para o outro e podem ou não ser executadas em uma ordem específica.

Seguindo esta forma de gerenciamento de projeto, foi definido como atividades de cada grupo como pode ser visto a seguir:

Iniciação – Dando início ao projeto, foi feito o estudo teórico a respeito dos assuntos relacionados ao projeto, levando em consideração todos os aspectos necessários para sua construção, como adequação as Normas Regulamentadoras e seu funcionamento. Junto a esta etapa, será feito o levantamento dos materiais necessários para a sua fabricação, tendo como rigor, os melhores custos baseado em licitações, tendo como critério preço e qualidade do material.

Planejamento - será realizado, com o auxílio de um software do tipo CAD (Computer Aided Design), o desenho 3D e 2D do projeto, tendo em vista as especificações imposta pela proposta de projeto.

Execução – Este grupo é para fabricação do projeto. Toda esta etapa será feita por uma ferramentaria e supervisionada pelos idealizadores.

Monitoramento – Durante este processo, foi efetuada a verificação dos dados ligada ao projeto, como torque e velocidade do motor. Os valores serão verificados com o auxílio de instrumentos técnicos destinados para este fim.

Encerramento – Etapa destinada para o levantamento de todos os documentos técnicos ligados ao projeto, como manuais de uso levantamento de riscos de operações.

O protótipo será produzido com materiais selecionados para torna-lo leve, e com a máxima qualidade a Tabela 1 apresenta cada material

Tabela 1: Listagem de materiais.

Peça	Material
Carcaça	Alumínio Ø178 mm 7"
Corpo do solenoide	Tarugo de alumino 3" x 200mm
Dissipadores	Tarugo de alumínio 4" x 150mm
Fios da bobina	AWG 20 fios de cobre esmaltado 15 m
Contra peso	Aço 1020
Haste (pistão)	Ferro fundido
Parafusos e Porcas	Sextavado M8 40mm
Eixo	Aço 1020

Fonte 1: Autoria Própria

Um dos materiais selecionado que apresentará grande importância na construção do o protótipo é o material ferro magnético que irá compor a produção da haste (pistão) que devido a sua permeabilidade magnética de $\mu = 5000 \text{ H/m}$ quando introduzido no núcleo da solenoide o campo terá uma melhor concentração das linhas de campo reforçando o fluxo magnético. Podemos encontrar a aplicações desse tipo de materiais em diversos locais, desde de núcleos de transformadores, até como eletroímãs usado em indústrias. Os materiais ao quais tem essa propriedade, em sua maioria, tem o seu uso na tentativa de aumentar a autoindução de uma bobina, ou visando na melhora do acoplamento magnético entre bobinas (Luís Carlos, 2009). Existe algumas ligas que apresentam esta propriedade, onde se difere por sua permeabilidade magnética, valor este que demonstra o quanto que o material é capaz de concentrar o campo em seu núcleo.

Contudo, podemos utilizar misturas para se beneficiar de características diversas, separando assim os materiais magnéticos nos grupos principais, que são usados como base para a formação de outras ligas, e em subgrupos segundo as bases. Estas ligas são utilizadas em campos específicos ao qual a sua propriedade melhor é aplicada.

Através dos cálculos revisados nas literaturas constatamos que no interior do solenoide podemos chegar a valores de campo no interior do solenoide de cerca de $7,38 \times 10^9$ T com o uso de hastes produzidas com ferros magnéticos.

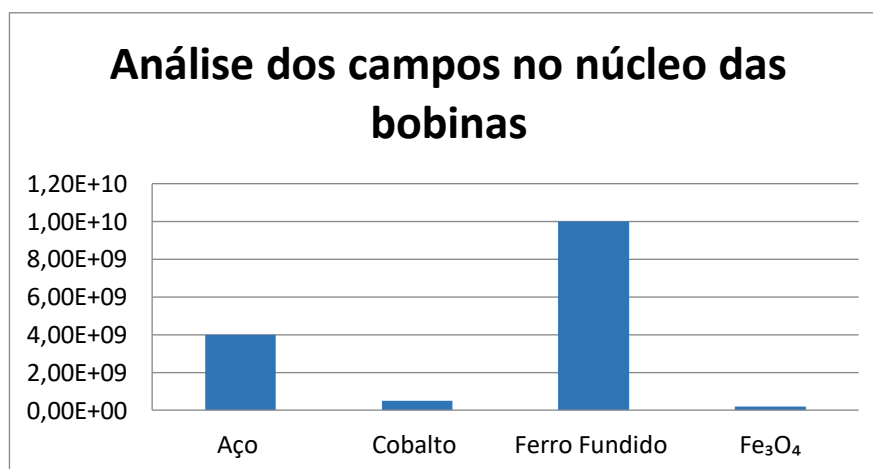
4 RESULTADOS

O motor terá seis solenoides posicionados em formato radial possibilitando realizar e transmitir o movimento de rotação, esse formato de construção possui o objetivo de ocupar um menor espaço em comparação a um motor construído em um bloco no formato V e, além do mais, devido ao seu formato, trará uma facilidade em se aplicar o método de refrigeração a ar de uma forma mais eficiente, reduzindo os custos e tornando o uso de água para refrigeração totalmente desnecessário.

O projeto, já passou por quatro etapas sendo elas, a de planejamento, desenho do motor, orçamento e a realização da compra dos materiais agora, se encontra na etapa mais importante, a de construção para posteriormente serem feitos os testes de performance. Este motor que será construído em escala reduzida dispõe de alguns testes de desempenho que irão avaliar a sua eficácia demonstrando ser um modelo viável para construção em tamanho real. Através destes testes, o motor pode passar por ajustes e melhorias a fim de no final da elaboração chegar aos valores satisfatórios e estipulados no momento da concepção da ideia.

O teste de maior importância para determinar a eficácia do motor e a dos campos magnéticos gerados por quatro diferentes tipos de material, ela que demonstra o melhor material para ser utilizado para estruturar o corpo da bobina e servir como núcleo da mesma. Os dados apresentados serviram de critério para a estruturação do projeto, os valores que se visa obter são demonstrados no Gráfico da Figura 4.

Figura 4: Gráfico demonstrativos dos valores de campos magnético.



5 CONCLUSÃO

A transição de veículos movidos a combustão por veículos elétricos cada vez mais vem se tornando uma realidade. Os veículos elétricos hoje, representa uma alternativa ecológica ao motor a combustão interna, eles entregam uma performance melhor e devido a não emitir algum tipo poluição no ar e sonora, melhora a qualidade de vida das pessoas ao seu redor e dos seus utilizadores. Empresas como por exemplo a Tesla Motors estão cada vez mais acelerando o processo de rompimento do panorama atual ao se produzir apenas veículos movidos a eletricidade em suas plantas industriais, demonstrando a todos que os veículos elétricos possuem uma eficiência superior em comparação com o de combustão interna, o que acaba forçando as outras indústrias automobilísticas a cogitar uma mudança de mercado o que irá impactar positivamente nas questões ambientais e econômicas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a Universidade Dom Bosco – Faculdade de Engenharia de Resende (AEDB-FER), pelo incentivo a pesquisa e apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, M. I. (2011). FONTES DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E OS DESAFIOS PARA A CADEIA PRODUTIVA AUTOMOTIVA . UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ .
- [2] ALVES, A. F. C. (2014). Os Motores em Engenharia Mecânica Motores invulgares. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- [3] HALLIDAY, D., RESNICK, R., & WALKER, J. (2009). Fundamentos de Fisica vol4. Rio de Janeiro: LTC.
- [4] JULIANI, A. D. (2007). Análise do Campo Magnético de um Motor de Imã Permanente no Rotor Utilizando o Método dos Elementos Finitos.
- [5] Landgraf, F. J. (2016). Propriedades Magnéticas de Aços para fins Elétricos.
- [6] MSQUITA, R. C. (1990). CÁLCULO DE CAMPOS ELETROMAGNETICOS TRIDIMENSIONAIS UTILIZANDO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA .
- [7] MUSSOI, P. F. (2007). Fundamentos de eletromagnetismo. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA.
- [8] NOCE, T. (2009). Estudo do funcionamento de veiculos eletricos e contribuições aos seus funcionamentos. 124.
- [9] RODRIGUES, D. M. (2017). Análise da aplicação de diferentes motores em sistemas de propulsão de Veículos Elétricos . PUC-RJ.
- [10] SILVA, G. R. (2010). CARACTERIZAÇÃO MAGNÉTICA DE AÇO COM A SUPERFÍCIE.

- [11] GOMEZ, JUAN, SOUZA, ADRIANA E ARRUDA, FABIANA. ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DOS VEÍCULOS DE COMBUSTÃO INTERNA E VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DOS CORREIOS. Brasília : UNB, Novembro, 2015
- [12] NETO, MAURO SPERANZA. MODELAGEM DE VEÍCULOS TERRESTRES COM MOTORES ELÉTRICOS. Sistemas Eletromecânicos. Rio de Janeiro : PUC-RIO, Abril, 2015.
- [13] WEG. MOTORES ELÉTRICOS GUIA DE ESPECIFICAÇÃO. Jaraguá do Sul : s.n., Novembro, 2016.
- [14] VELLOSO, J. P. R. et al. Estratégias de implantação do carro elétrico no Brasil. Rio de Janeiro: INAE, 2010.
- [15] TACON, K. M. Tendências da indústria automobilística para produção de veículos que utilizam fontes energéticas alternativas. Rio de Janeiro: 1999.